

# UN CONSEIL DE FUMURE RAISONNÉ

## LE CAS DU PHOSPHORE



### Auteurs

V. Genot, M. Renneson, L. Bock et G. Colinet  
M.J. Goffaux, T. Cugnon  
P. Coutisse, P. Lizin  
L.M. Blondiau  
D. Vanvyve  
R. Lambert, B. Toussaint  
P. Courtois, J. Balon



Wallonie



# REQUASUD

EDITION 2011



# UN CONSEIL DE FUMURE RAISONNÉ

## LE CAS DU PHOSPHORE



Auteurs  
V. Genot, M. Renneson, L. Bock et G. Colinet,  
Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité de Science du Sol  
M.J. Goffaux, T. Cugnon, ASBL REQUASUD  
P. Coutisse, P. Lizin, ASBL Brabant Wallon Agro-qualité, La Hulpe  
L.M. Blondiau, ASBL CARAH, Ath  
D. Vanvyve, ASBL CPL PROMOGEST, Tinlot  
R. Lambert, B. Toussaint, ASBL IQUALUX, Michamps  
P. Courtois, J. Balon, ASBL OPA-Qualité, Ciney

## CONTEXTE

Ce document détaille le raisonnement suivi par les laboratoires provinciaux membres de la chaîne Minérale-sols de l'ASBL REQUASUD pour préconiser les conseils de fumure aux agriculteurs.

Il résulte d'un long travail de concertation entre les laboratoires de proximité du réseau REQUASUD et l'Unité de Science du Sol de Gembloux Agro-Bio Tech. Ce travail avait été amorcé, dès 1990, au sein de la Commission des Sols de Wallonie et s'est poursuivi dans le cadre des activités de l'ASBL REQUASUD.

Le raisonnement du conseil de fumure présenté ici intègre les spécificités locales du milieu naturel, notamment pédologiques et climatiques, qui coexistent en Wallonie. Ceci repose sur le développement d'outils propres au réseau mis à disposition des laboratoires provinciaux.

Ce document présente le raisonnement du conseil de fumure en phosphore, néanmoins, de nombreuses parties sont communes à l'ensemble des éléments du conseil.

Il s'agit d'un document destiné à évoluer au fil des années, au travers des expériences acquises, des parcelles d'expérimentation, de l'évolution des connaissances...

## INTRODUCTION

A l'heure où les questions agronomiques, environnementales et économiques imposent à l'agriculteur une gestion parcimonieuse de ses intrants agricoles, le besoin d'une meilleure connaissance de ses terres et de leur potentiel s'impose. Parmi les outils d'évaluation et d'aide à la décision dont il dispose, l'analyse de terre occupe une place privilégiée dans un processus dont tous les maillons doivent être maîtrisés de manière à aboutir à un diagnostic agronomique et un conseil de fumure adaptés à la parcelle agricole (figure 1).

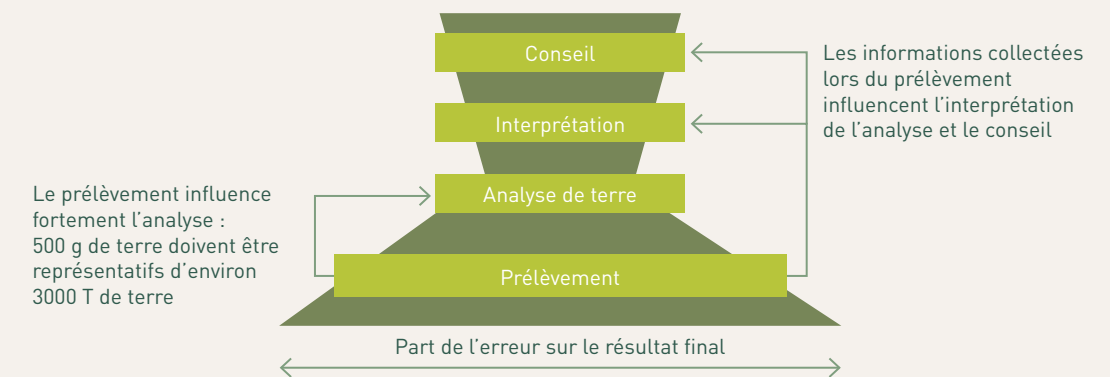


Figure 1 : Du prélèvement d'un échantillon au conseil de fumure, la chaîne de l'analyse comporte quatre maillons principaux. Adapté de Diab-Sas (1991) et Roebroek (2009)

L'échantillonnage est une étape clef de cette chaîne d'opération dont la part d'incertitude sur le résultat final est généralement sous-estimée car difficilement appréciable, au contraire d'un résultat de laboratoire.

Il importe donc d'apporter une attention toute particulière à cette étape et de tout mettre en œuvre pour diminuer l'imprécision qui peut y être liée. Il est également indispensable de disposer d'outils cartographiques pour mettre à disposition du technicien de prélèvement, du laboratoire et de l'agronome toutes les informations utiles à la bonne exécution de leur fonction et à l'interprétation des résultats d'analyse. Il est enfin primordial que la stratégie suivie au niveau de chacune de ces étapes soit identique quel que soit l'intervenant.



# L'ÉCHANTILLONNAGE, UNE ÉTAPE CLEF...



L'échantillonnage est un maillon indispensable de la chaîne aboutissant au conseil de fumure. Il est donc primordial d'y consacrer une attention particulière et de chercher à diminuer au maximum l'erreur qui peut en résulter.

Ainsi, les normes ISO 10381-1 (2002), 10381-2 (2002) et 10381-4 (2003) ainsi que le guide NF X 31-100 (1992) dictent les principales directives en matière d'échantillonnage des terres agricoles.

Ces recommandations concernent le matériel et l'époque de prélèvement, la définition des zones de prélèvement sur la parcelle à échantillonner, l'identification de ces zones, la profondeur, l'exécution et le nombre de prélèvements élémentaires à effectuer par zone.

La délimitation des zones de prélèvement sur la parcelle est l'opération la plus délicate de ce processus.

En effet, le technicien de prélèvement doit être en mesure de définir sur la parcelle des zones

- (i) de même culture et dans le même état végétatif,
- (ii) de même précédent cultural,
- (iii) caractérisées par un relief homogène et
- (iv) par un sol homogène.

De plus, des informations relatives à ces zones de prélèvement doivent être collectées lors de cette étape et transmises à l'agronome pour le conseil de fumure.

Pour répondre à ces directives, la chaîne Minérale-sols de REQUASUD a développé un portail cartographique (<http://requacarto.cra.wallonie.be>) permettant

- (i) aux techniciens de prélèvement du réseau de répondre aux préconisations des normes, de réaliser un échantillonnage de qualité et de collecter l'information utile à la réalisation d'un conseil de fumure pertinent et
- (ii) à l'agronome du laboratoire de disposer des données nécessaires au conseil pour les différentes zones de prélèvement.

La figure 2 ci-contre présente les différents écrans disponibles en fonction des utilisateurs.



Figure 2 : Principaux écrans rencontrés par les utilisateurs du portail cartographique REQUACARTO lors de la sélection d'une parcelle située, pour l'exemple, à Falmignoul en Condroz. A gauche, les écrans accessibles à l'exploitant ; à droite, les écrans rencontrés par les intervenants des laboratoires

Un utilisateur non enregistré, comme un agriculteur par exemple, peut sélectionner sur le portail la parcelle pour laquelle il souhaite obtenir un conseil et envoyer la demande au laboratoire de son choix. Le laboratoire peut, après sélection d'une parcelle, obtenir le rapport d'échantillonnage et gérer un historique des parcelles analysées (figure 3).

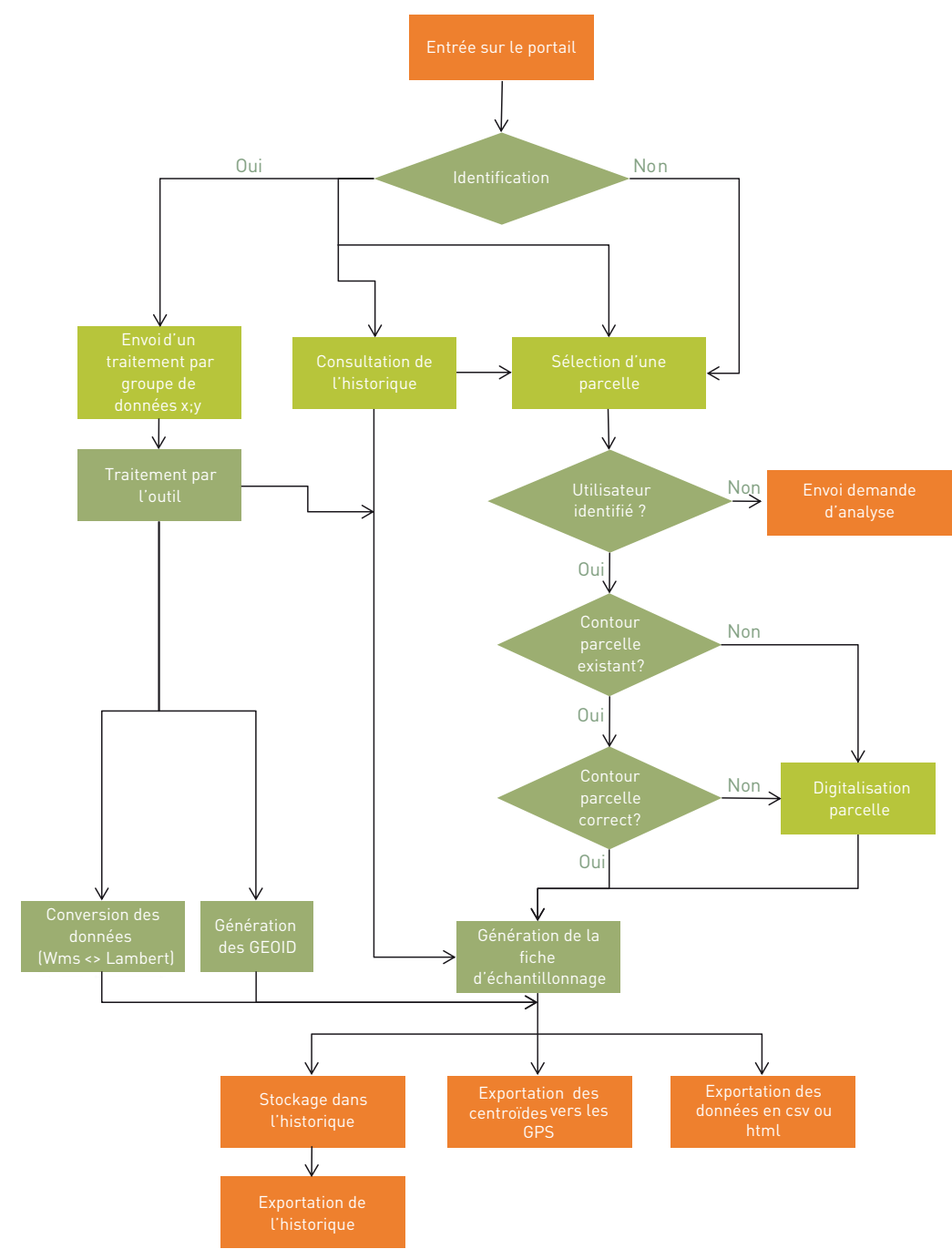


Figure 3 : Logigramme d'utilisation du portail cartographique REQUACARTO

Les informations collectées sur la parcelle et disponibles dans un rapport d'échantillonnage sont les suivantes :

- informations géographiques et d'occupation,
- informations pédologiques,
- informations relatives aux zones de prélèvement.

Les limites de la parcelle sont dessinées sur le fond orthophotoplan noir et blanc. Si l'information est disponible, via la couche parcellaire de référence ou l'historique de la digitalisation, les limites parcellaires des deux années précédentes sont également illustrées ainsi que la succession culturale des trois dernières années. Les informations relatives à sa superficie et les coordonnées de son centroïde [projection Lambert Belge 72] sont également incluses au rapport d'échantillonnage.

Sur base de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW), l'information pédologique de la parcelle est délivrée au technicien de prélèvement (figure 4), de même qu'un tableau présentant les principales informations pédologiques utiles au technicien, à l'agronome et à l'exploitant (tableau 1).

#### INFORMATION PEDOLOGIQUE DE LA PARCELLE



Figure 4 :  
Extrait du rapport d'échantillonnage  
présentant la carte des sols d'une  
parcelle située à Falmignoul en  
Condroz

Série	Occupation	Texture	Charge		Substrat		Drainage		
	(%)	Nature	Nature	(%)	Nature	Prof. (cm)	Nature	Prof. oxyd.	Prof. réd.
Aba1	59,8	Sols limoneux	-	< 5%	-	> 125	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
uAba2_3	15,7	Sols limoneux	-	< 5%	Argileux	20-80	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
Gbax4	12,3	Sols limono-caillouteux	Silexite	15-50%	-	20-40	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
A-Gbp1	10,4	Complexe de sols limoneux et limon-caillouteux	-	15-50%	-	> 125	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
GbBK4	1,8	Sols limono-caillouteux	Argilo-calcaire	15-50%	-	20-40	Sols non gleyfiés	> 125	> 125

Tableau 1 : Extrait du rapport d'échantillonnage présentant l'information pédologique pour une parcelle située à Falmignoul en Condroz



La stratégie adoptée vise à proposer des zones de prélèvement homogènes par rapport aux propriétés des sols qui conditionnent l'aptitude culturale. Si deux zones différentes sont identifiées sur la parcelle, deux conseils différents pourront alors être délivrés, soit sur la base d'une teneur différente en un des éléments nutritifs, soit sur base d'un critère d'interprétation différent (capacité d'échange cationique, texture, charge caillouteuse...).

Les données influençant le conseil de fertilisation ont donc été identifiées en prenant comme axe de réflexion les modèles régionaux établis par les laboratoires de la chaine Minérale-sols.

Pour chaque parcelle, à chaque changement significatif d'un critère morphologique, une nouvelle zone de prélèvement est identifiée. Ainsi, les zones de prélèvement identifiées au niveau de la parcelle de Falmignoul utilisée comme exemple (figure 5) sont identiques aux séries de sol (figure 4) ; les contrastes de texture, charge caillouteuse, profondeur du sol et position topographique ne justifient pas de regroupement des sigles.



Figure 5 : Extrait du rapport d'échantillonnage identifiant les zones de prélèvement sur une parcelle située à Falmignoul en Condros

Au contraire au niveau d'une parcelle située sur la commune de Gembloux (figure 6), le raisonnement conduit à regrouper les onze séries de sol en deux zones de prélèvement.



Figure 6 : Extrait du rapport d'échantillonnage présentant la carte des sols (gauche) et les zones de prélèvement (droite) d'une parcelle située sur la commune de Gembloux en région limoneuse

Pour chaque zone de prélèvement, les données utiles à l'élaboration du diagnostic agronomique sont présentées, de même que la proportion de la zone par rapport à la superficie de la parcelle (tableau 2).

Une information relative à l'aptitude culturale pour la culture à venir est également délivrée. L'aptitude d'un sol est sa capacité de production dans des conditions d'utilisation donnée.

Le système de classes d'aptitude adopté est relatif, en ce sens qu'il se base sur la comparaison, pour chaque type de sol et pour une culture donnée, des rendements attendus par rapport au rendement optimal obtenu pour le meilleur sol de la région agricole en année normale, en considérant une gestion adéquate du sol.

Label	Occupation	Texture	Charge		Substrat		Drainage	Divers	Classe aptitude
	(%)	Nature	Nature	(%)	Nature	Prof. (cm)			
A	100	-	-	-	-	-	-	Parcelle	-
B	59,8	Limon	-	< 5%	-	> 40	Excessif à imparfait	-	I
C	15,7	Limon	-	< 5%	Argile ou argile sableuse	> 40	Excessif à imparfait	-	I
D	12,3	-	Gravier ou silexite	15-50%	-	> 40	Excessif à imparfait	-	II
E	10,4	-	-	< 5%	-	> 40	Excessif à imparfait	Alluvion ou colluvion	I

Tableau 2 : Extrait du rapport d'échantillonnage présentant l'information liée aux zones de prélèvement identifiées sur une parcelle située à Falmignoul en Condros

Toutes ces informations sont donc indispensables lors de la phase d'échantillonnage pour laquelle la stratégie visera à réaliser un échantillon par zone de prélèvement identifiée. Ces informations sont également utiles pour interpréter les résultats d'analyse et aboutir à un conseil de fumure pertinent.



# LES ANALYSES, LE MENU CLASSIQUE...



Chaque échantillon, prélevé au sein d’une zone d’échantillonnage, est ensuite analysé au laboratoire en vue de caractériser la fertilité chimique de la parcelle.

Les principaux indicateurs de la fertilité des sols concernent le statut acido-basique, le statut organique et le statut en éléments nutritifs (figure 7).

Menu des analyses réalisées par les laboratoires membres de la chaîne Minérale - sols de REQUASUD				
Paramètres explicatifs	Evaluation du statut acido-basique	Evaluation du statut organique	Evaluation du statut nutritif	Evaluation du statut environnemental
Texture CEC	pHKCl pHeau Besoin en chaux	COT NT Rapport C/N	• Eléments disponibles: Ca-Mg-K-P • Rapport K/Mg • Oligoéléments: Al-Cu-Fe-Mn-Zn	Eléments traces métalliques: As-Cd-Cr-Cu-Hg-Ni-Pb-ZnNi
ISO 11277 ISO 23470 OU Evaluation par SPIR	ISO 10390	ISO 14235 ou ISO 10694 ISO 11261 ou ISO 13878	Méthode de Lakanen-Erviö	ISO 11466

Figure 7 : Les analyses communément réalisées par les laboratoires membres de la chaîne Minérale-sols de REQUASUD. Les paramètres constituant le menu classique d’évaluation de la fertilité sont présentés en vert

**Les paramètres explicatifs**, malgré leur importance pour le diagnostic agronomique, sont très rarement demandés par les agriculteurs. Ainsi, dans la base de données Terre de REQUASUD, sur les 300 000 références disponibles, seuls 590 résultats d’analyse de la capacité d’échange cationique (CEC) sont disponibles. Vu leur importance dans le conseil de fumure et le peu de demande, des solutions alternatives ont dû être trouvées pour fournir une information sur ces paramètres ; il s’agit de la spectroscopie proche infrarouge. Les laboratoires du réseau sont ainsi parmi les pionniers dans ce domaine puisque très rares sont les laboratoires d’analyse de terre dans le monde qui utilisent cette technique en routine dans le domaine des analyses de terre (Genot et al., 2011). Le taux d’argile et la CEC des échantillons de terre sont estimés selon cette méthode lorsque l’analyse n’est pas demandée par l’agriculteur afin d’améliorer le conseil fourni à celui-ci. Le portail cartographique REQUACARTO permet également d’évaluer la granulométrie des échantillons par le biais des sigles de la CNSW (PCNSW, 2007a).

**Le statut acido-basique** peut être exprimé par un certain nombre de paramètres dont le pH, l’acidité d’échange ou la teneur en aluminium échangeable. En pratique, c’est le pH du sol qui est le plus couramment retenu. Celui-ci est une expression synthétique des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol (porosité pour l’eau et l’air), à l’activité microbienne (humification et minéralisation de la matière organique) et à la disponibilité des éléments majeurs ou des éléments en traces. Les grandes cultures présentent souvent un optimum de croissance dans la gamme des pH comprise entre 6,0 et 7,0. Le pH mesure l’activité des protons dans une suspension de terre avec une solution qui peut être de l’eau ou un sel neutre (KCl, CaCl<sub>2</sub>, BaCl<sub>2</sub>...). Au sein du réseau REQUASUD, le pH est communément mesuré dans une solution de KCl 1N.

**Le statut organique**, quant à lui, est généralement évalué par la mesure du carbone organique total (COT) et de l’azote total (NT). Outre les aspects quantitatifs purs, le carbone et l’azote interviennent dans l’état qualitatif de la matière organique au travers du rapport C/N. Celui-ci est un indicateur des conditions de minéralisation de la matière organique dans le sol.

**Le statut nutritif** est évalué par la mesure des cations disponibles (calcium, magnésium et potassium), du phosphore disponible et, selon les cas, des oligo-éléments disponibles (cuivre, fer, manganèse ou zinc). L’extraction de la fraction d’un élément nutritif supposée disponible pour la plante s’effectue par l’action d’une solution d’acétate d’ammonium 0,5 N EDTA tamponnée à pH 4,65 avec un rapport sol/solution de 10 g/50 ml (Lakanen et Erviö, 1971). Cette méthode sera disponible dans le millésime 2012 du Compendium Wallon des Méthodes d’Echantillonnage et d’Analyse du Service Public de Wallonie.

Enfin, **le statut environnemental** est effectué via le dosage des éléments traces métalliques présents dans le sol. La méthode préconisée consiste en une attaque du sol par l’eau régale selon un rapport sol/solution de 3 g/30 ml.

Au sein de REQUASUD, la qualité des analyses est assurée par  
(i) le contrôle régulier des appareils et des méthodes d’analyse au travers d’essais interlaboratoires,  
(ii) la mise à disposition de matériaux de référence et  
(iii) la réalisation de cartes de contrôle.

Il est à noter que REQUASUD est engagé dans une démarche d’accréditation pour l’organisation de ces essais interlaboratoires. De plus, les laboratoires sont accrédités ou en cours d’accréditation pour certaines des méthodes d’analyse de terre. Toutes ces actions visent à garantir, pour l’agriculteur, un résultat d’analyse juste et fidèle.



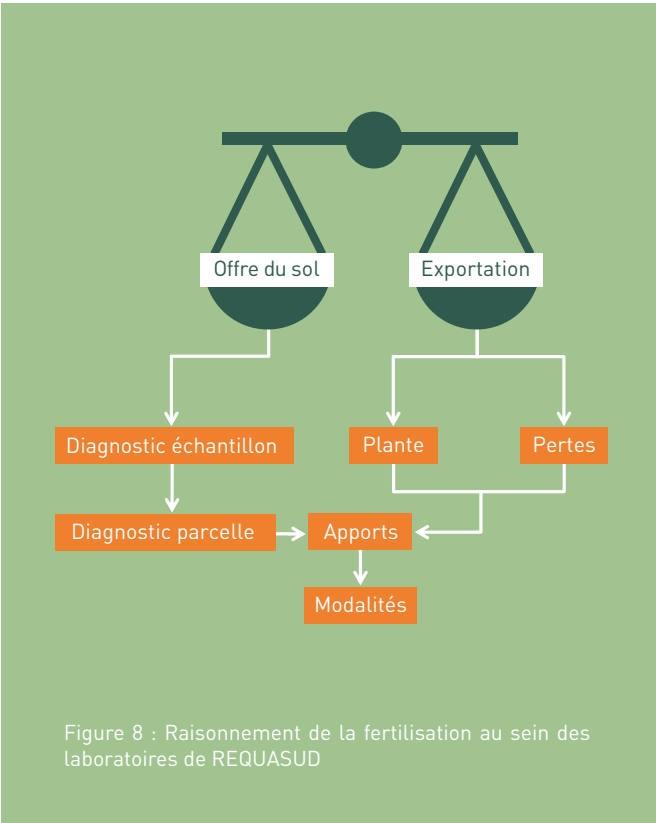


# DU DIAGNOSTIC AU CONSEIL DE FUMURE...

Les analyses réalisées en laboratoire doivent être interprétées avant d’être délivrées à l’agriculteur. Il est essentiel que cette interprétation et donc le conseil soient indépendants du laboratoire et que les informations utiles à l’interprétation soient communiquées à l’agriculteur.

Le conseil de fumure résulte d’un équilibre entre l’offre du sol et les exportations, qu’elles soient réalisées par la plante ou suite aux phénomènes de lixiviation, ou les pertes suites aux phénomènes de fixation ou de rétrogradation (figure 8). Il s’agit donc de trouver un juste milieu entre ces différents postes de manière à ce que la plante dispose dans le sol de ce dont elle a besoin pour se développer sans appauvrir celui-ci ou risquer une contamination de l’environnement suite à une surfertilisation. Le phosphore est en effet responsable du phénomène d’eutrophisation des cours d’eau. Le conseil voulu par le réseau s’inscrit dans le cadre d’une agriculture raisonnée qui correspond à une démarche globale de gestion de l’exploitation visant à renforcer les impacts positifs des pratiques agricoles et à réduire les effets négatifs sans remettre en cause sa rentabilité économique (Schvartz et al., 2005). Elle se construit sur un socle de pratiques respectueuses de l’environnement, validé par l’expérience scientifique et assurant un développement durable. Nous attirons l’attention sur le fait que la fertilisation n’est pas appropriée pour corriger des carences induites par des techniques culturales inadaptées liées à une rotation déséquilibrée, à des sols compactés en raison d’un travail intempestif, d’une récolte dans de mauvaises conditions ou de pratiques phytosanitaires inadéquates (Ryser et al., 2001).

Il est également important d’insister sur le fait qu’une fois la quantité à apporter conseillée par les laboratoires, toutes les formes de fertilisants doivent être intégrées et notamment les effluents d’élevage qui constituent une source non négligeable d’apports en éléments P, K, Mg ou autres oligoéléments. Ces quantités doivent donc être déduites des intrants minéraux pour éviter une sur-fertilisation de la parcelle et un déséquilibre de l’offre du sol avec les conséquences environnementales que cela peut avoir.



## L'OFFRE DU SOL

L’offre du sol illustre la quantité d’éléments minéraux présents dans le sol et disponibles pour la culture à venir. Ces éléments, indispensables à la croissance de la plante, peuvent être présents dans la solution du sol, adsorbés sur le complexe organo-minéral ou complexés.

### I. Diagnostic agronomique de l’échantillon

Pour évaluer l’offre du sol, la connaissance de plusieurs paramètres s’avère indispensable. Il s’agit tout d’abord d’évaluer la teneur en phosphore biodisponible dans le sol selon la méthode de Lakanen et Erviö (1971). Cet extractif, à pH 4,65, a été choisi pour simuler le contexte chimique environnant la racine et donc pour évaluer la part du phosphore du sol qui est disponible pour la plante. Cette valeur doit être interprétée selon trois paramètres qui permettent de qualifier l’offre du sol en phosphore : le taux d’argile, le  $pH_{KCl}$  et la présence ou non de  $CaCO_3$  dans le sol. Si l’agriculteur ou le particulier ne demande pas l’analyse granulométrique, le laboratoire utilisera le portail cartographique REQUACARTO ou la technique infrarouge pour estimer ce paramètre sans augmenter le risque d’erreur sur le diagnostic.

Sur base des travaux de l’ancienne Commission des Sols de Wallonie, des essais longue durée des laboratoires, universités et centre de recherche et des données disponibles en Suisse romande (Ryser et al., 2001), un tableau de diagnostic a été élaboré (tableau 3). Il permet de qualifier la terre analysée du point de vue de sa disponibilité en phosphore et donc d’émettre un premier diagnostic agronomique sur l’échantillon.

Texture	Sols légers		Sols moyens		Sols lourds	
$pH_{KCl}$	< 5,5	≥ 5,5	< 5,5	≥ 5,5	< 5,5	≥ 5,5
Élevé (mg P/100 g)	> 9,0	> 10,0	> 6,0	> 7,5	> 4,5	> 6,0
Bon (mg P/100 g)	5,1* – 9,0	6,6* – 10,0	3,0* – 6,0	4,6* – 7,5	2,6* – 4,5	3,6* – 6,0
Bas (mg P/100 g)	< 5,1	< 6,6	< 3,0	< 4,6	< 2,6	< 3,6

\*Valeur pivot

Tableau 3 : Référentiel d’interprétation de l’offre du sol en phosphore disponible permettant un diagnostic agronomique de l’échantillon de terre analysé sur base d’une extraction selon la méthode de Lakanen et Erviö (1971)





Les sols légers correspondent aux classes texturales Z et S de la carte des sols de Belgique (figure 9). Les sols moyens correspondent aux classes texturales P, L et A, tandis que les sols lourds correspondent aux classes E et U. A défaut d'une analyse granulométrique, le portail cartographique REQUACARTO est un outil utile pour entrer dans le référentiel.

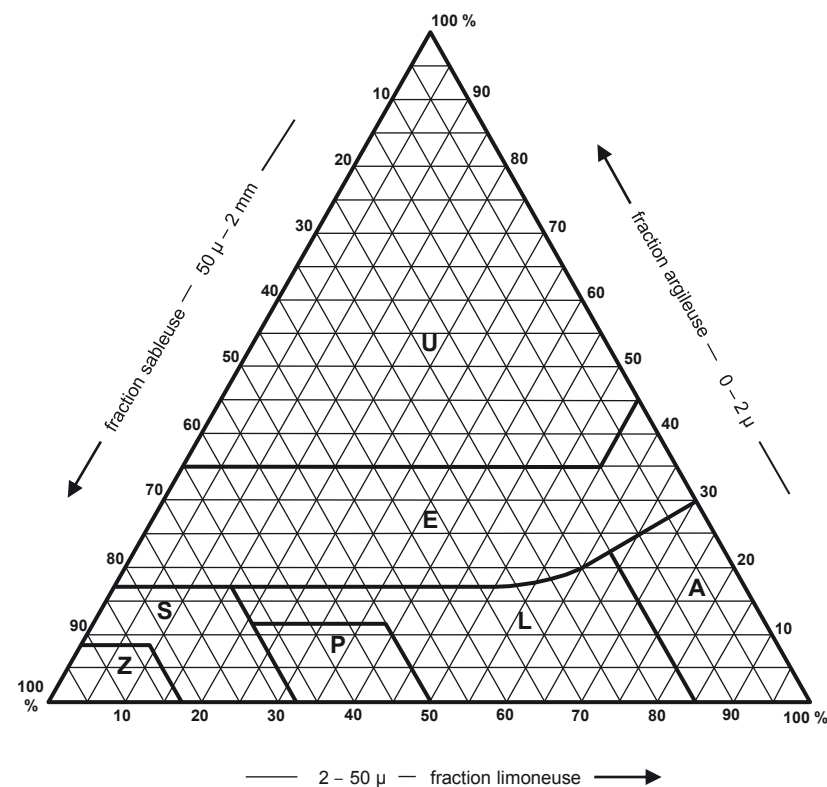


Figure 9 : Triangle textural de la Carte des sols de Belgique (PCNSW, 2007a)

Par rapport aux premières versions du référentiel d'interprétation (Genot et al., 2009), les teneurs seuils en phosphore disponibles ont été réévaluées, en les diminuant légèrement pour les sols moyens et légers. Pour les sols lourds, il a été constaté, au vu des données disponibles dans la base de données terre de l'ASBL REQUASUD, de l'expertise des laboratoires et sur base bibliographique, que l'extractif n'était pas suffisamment efficace dans ces sols. Ainsi, la plante arrive à trouver dans le sol une quantité plus importante que la valeur obtenue à l'analyse. C'est pourquoi, les valeurs seuils ont été nettement diminuées.

L'équation permettant d'évaluer l'offre du sol et de calculer les besoins en P (P<sub>1</sub>) est la suivante (1) :

$$P_1 = V_a - V_p \text{ (mg P/100 g)} \quad (1)$$

Avec : P<sub>1</sub> = besoin en P (mg P/100 g)  
V<sub>p</sub> = valeur pivot (mg P/100 g)  
V<sub>a</sub> = valeur obtenue à l'analyse pour l'échantillon (mg P/100 g)

Trois cas de figures peuvent se présenter :

- ① Si l'échantillon se trouve dans la classe «bon», l'offre du sol est considérée comme suffisante et les besoins en P (P<sub>1</sub>) sont nuls.
- ② Si l'échantillon est dans la classe «bas», l'offre du sol est négative et des apports supplémentaires aux exportations devront être prévus (P<sub>1</sub>).
- ③ Si l'échantillon est dans la classe «élevé», l'offre du sol n'est plus optimale. Des déséquilibres peuvent être observés entre les éléments ainsi que des risques pour l'environnement.

## II. Diagnostic agronomique à la parcelle

L'évaluation des besoins en phosphore (P<sub>1</sub>) vaut pour l'échantillon qui doit être représentatif d'une zone de prélèvement homogène sur la parcelle. Il s'agit donc de convertir cette valeur en unité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par hectare (P<sub>2</sub>). Deux facteurs principaux sont à considérer pour évaluer la quantité de terre fine présente dans la zone de prélèvement selon la profondeur de sol considérée : la densité apparente de la terre fine (Da) et le taux de charge caillouteuse sur la zone de prélèvement (%c).

Pour ce dernier, le raisonnement est basé sur le fait que plus la charge caillouteuse est importante, plus la quantité de terre fine sera faible.

Pour évaluer la densité apparente (Da) de la terre fine, nous considérons l'équation 2a suivante, qui se base sur le taux de matière organique (MO) dans la parcelle (Ryser et al., 2001).

$$Da = 1,488 \times 10^{(-0,0131MO)} \quad (2a)$$

Où MO (%) = 2 x COT (%)

Le taux de charge caillouteuse est obtenu via le portail cartographique REQUACARTO sur base des informations délivrées par la CNSW. Le technicien de prélèvement, s'il le juge pertinent, peut moduler ce pourcentage au vu de ses observations de terrain.

L'équation 2b permet de quantifier l'offre du sol (P<sub>2</sub>).

$$P_2 \text{ (kg P}_2\text{O}_5\text{/ha)} = \frac{P_1 \times 2,291 \times TF \times (100 - \%c)}{10000} \quad (2b)$$

Où 2,291 = facteur de conversion permettant de passer de P à P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
TF = poids de terre fine à l'hectare (kg/ha) = 10 000 x Da x prof  
Da = densité apparente  
Prof = profondeur de prélèvement exprimée en mètre  
%c = pourcentage de charge caillouteuse

P<sub>2</sub> peut donc être une valeur nulle, positive ou négative selon le diagnostic élaboré pour l'échantillon.

LES EXPORTATIONS

I. Les exportations par la plante

La Wallonie est une petite région en superficie mais les différences territoriales y sont importantes, tant en termes de différenciation pédologique que du climat. Les spéculations varient selon les régions agricoles et pour une même spéculation, les rendements peuvent également varier d’une région agricole à l’autre (figure 10).

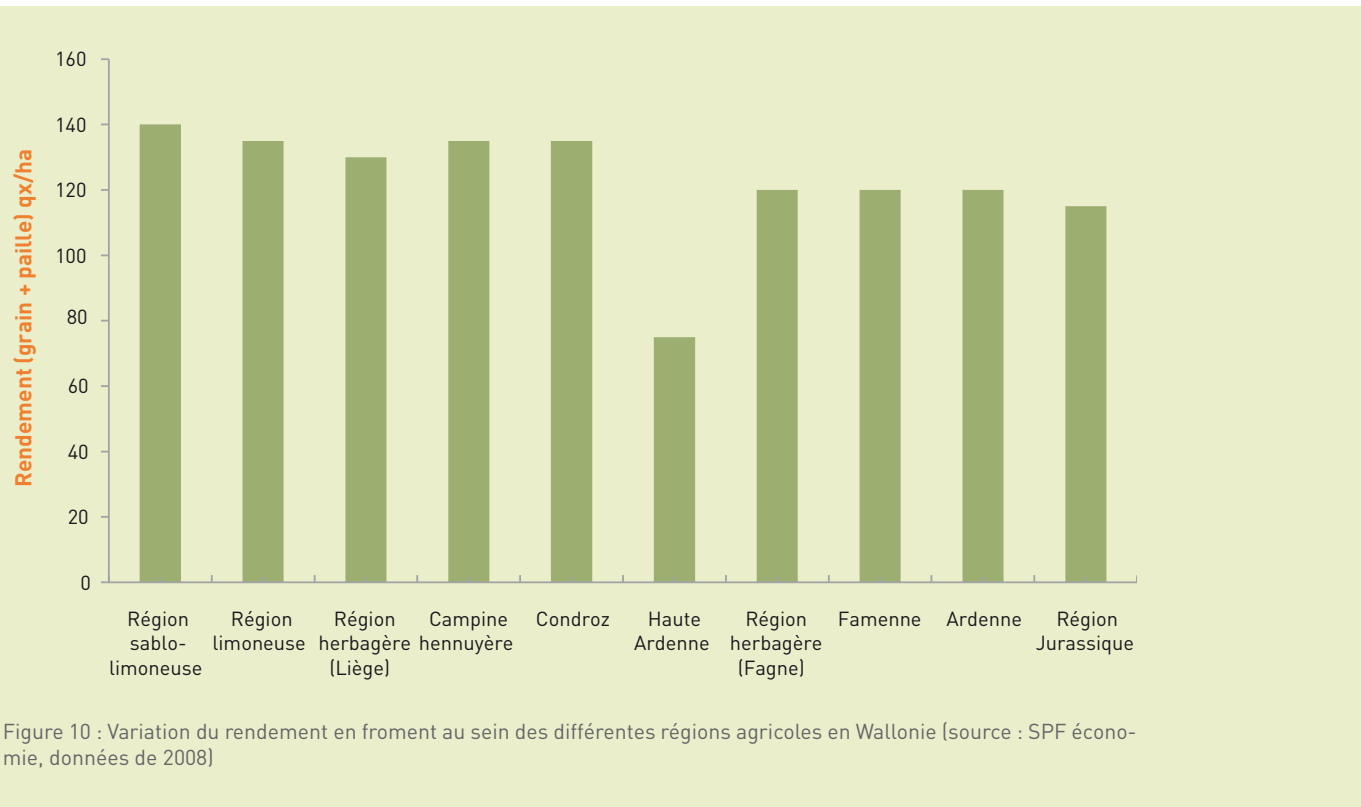


Figure 10 : Variation du rendement en froment au sein des différentes régions agricoles en Wallonie (source : SPF économie, données de 2008)

De plus, au sein d’une même région agricole, les spéculations et les rendements associés pourront varier selon le type de sol. Pour intégrer ce critère, la notion d’aptitude des sols a été retenue (figure 11).

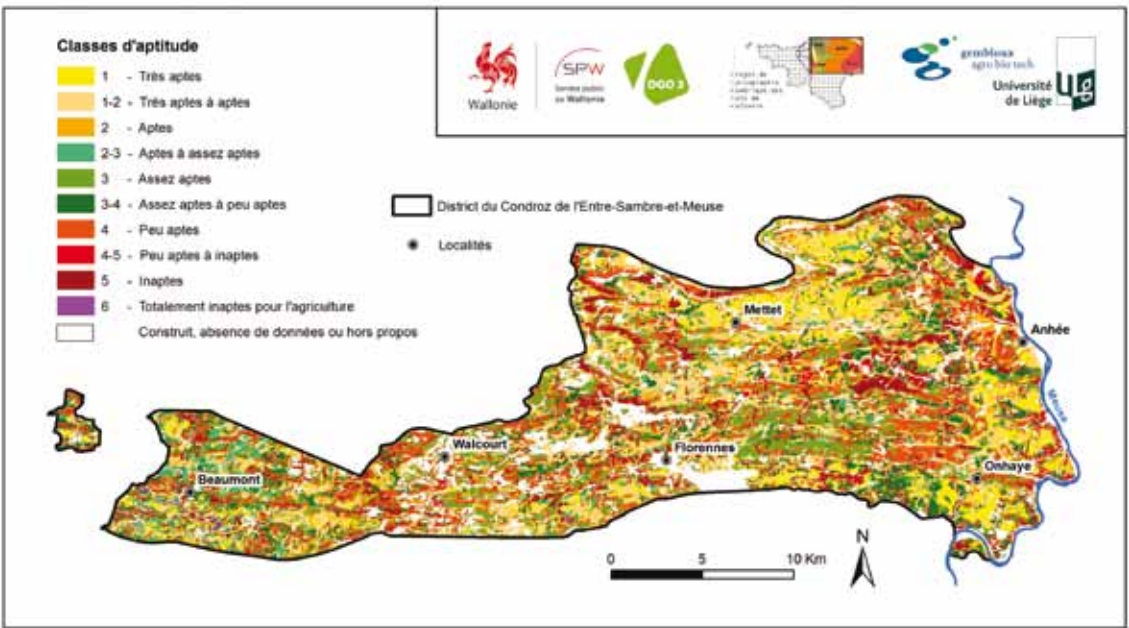


Figure 11 : Carte d’aptitude des sols pour la culture de la betterave sucrière (carte produite à partir de la CNSW et d’une compilation des données d’aptitudes présentes dans les livrets explicatifs) (PCNSW, 2007b)

Pour évaluer les exportations par la plante, les laboratoires de la chaîne Minérale-sols de REQUASUD travaillent sur base d’une espérance de rendement ou d’un rendement estimé. Le potentiel racinaire de la plante est également considéré dans la réflexion. Ce facteur reflète la facilité ou la difficulté qu’a la plante à prélever les éléments de la solution du sol.

Parfois, l’espérance de rendement (R) est fournie par l’agriculteur, mais ce cas est rarement rencontré en pratique par les laboratoires, c’est pourquoi des solutions alternatives ont dû être trouvées. Le rendement d’une plante est fonction des caractéristiques du sol et du climat. Il est possible, au sein d’une même région agricole, de disposer de données statistiques sur les rendements via le site du SPF économie (<http://statbel.fgov.be>) pour les principales spéculations rencontrées. Sur cette base, un tableau des rendements retenus par région agricole a été établi pour les principales spéculations rencontrées. Ce tableau est disponible auprès des laboratoires du réseau ou de la cellule de coordination de REQUASUD. Un extrait est présenté au tableau 4. Une révision annuelle est effectuée en comité technique et scientifique du réseau.

		Rendement par région agricole (qx/ha)			
Spéculation		Région limoneuse	Condroz	Haute Ardenne	Ardenne
Froment de printemps	Grain	80	70	45	60
	Paille	20	40	30	40
Maïs fourrage	Plante entière	490	500	300	490

Tableau 4 : Extrait du tableau des rendements estimés pour les différentes spéculations rencontrées au sein des différentes Régions agricoles en Wallonie



Au sein d’une même région agricole, le rendement peut également varier fortement, notamment en fonction des caractéristiques du sol. C’est pourquoi, au sein du réseau, sur base d’une compilation des aptitudes de sol disponibles via la CNSW, trois classes de rendements sont considérés pour chaque région agricole :

Classe 1 : rendement retenu en fonction de la spéculation et de la région agricole ;  
Classe 2 : 70% du rendement retenu pour la classe 1 ;  
Classe 3 : 50% du rendement retenu pour la classe 1.

Ces classes sont basées sur les données disponibles dans les livrets explicatifs de la carte des sols de Belgique. Elles ont été revues et compilées par l’équipe du Projet de Cartographie Numérique de Sols Wallonie (PCNSW, 2007b). Elles ont été synthétisées et intégrées dans le portail cartographique REQUACARTO par l’équipe de REQUASUD. Le laboratoire, une fois la culture à venir sélectionnée sur le portail, dispose, pour chaque zone de prélèvement, d’une classe d’aptitude.

Il peut ainsi calculer le rendement à la base du calcul pour le raisonnement des exportations (équation 3a).

$$R \text{ (qx/ha)} = R_{ra} \times \text{classe (1 ou 0,7 ou 0,5)}$$
 (3a)

Où : R= rendement retenu  
R<sub>ra</sub> = rendement fonction de la Région agricole (qx/ha)  
Classe = classe d’aptitude fournie par REQUACARTO

Ensuite, un tableau des exportations (en P, K et Mg) par unité de rendement a été élaboré (tableau 5).

		Exportation par unité de rendement (kg/qx)		
Spéculation		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Froment de printemps	Grain	0,85	0,5	0,19
	Paille	0,17	1,23	0,09
Maïs fourrage	Plante entière	0,42	1,19	0,19

Tableau 5 : Extrait du tableau des exportations par unité de rendement (E<sub>ur</sub>) pour les différentes spéculations rencontrées en Wallonie

Ainsi, les besoins de la culture (B<sub>p</sub>) sont obtenus en multipliant le rendement retenu (R) pour la spéculation par ses exportations par unité de rendement (E<sub>ur</sub>) (équation 3b).

$$B_p \text{ (kg P}_2\text{O}_5\text{/ha)} = R \times E_{ur}$$
 (3b)

Où : B<sub>p</sub> = besoin de la plante en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
R = rendement retenu  
E<sub>ur</sub> = exportation par unité de rendement pour la région agricole

Enfin, les exportations par la plante (E<sub>p</sub>) sont calculées en intégrant le potentiel racinaire de la plante (tableau 6 et équation 3c). Ce potentiel racinaire intègre la facilité du système racinaire à prélever dans le sol les éléments dont il a besoin. Il se base sur des essais de longues durées réalisés en Suisse romande et est confirmé par l’expérience des laboratoires. Mathot et al. (2009) ont ainsi montré que la qualité fourragère des prairies était toujours atteinte même lorsque l’offre du sol paraissait insuffisante à l’analyse.

Spéculation	Facteur de correction pour chaque élément		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Céréale	1	0.8	1
Maïs	1,2	1	1
Pomme de terre consommation	1,2	1,2	1,2
Prairie pâturée intensive	0,5	0,3	0,8
Prairie de fauche intensive	1	0,8	1,2

Tableau 6 : Facteur de correction des besoins des plantes en intégrant son potentiel racinaire (PR) (adapté de Ryser et al., 2001)

Lorsque ce facteur est inférieur à 1, la plante possède des capacités particulières à prélever cet élément. A l’inverse, lorsque celui-ci est supérieur à 1, l’élément est difficilement prélevé par la plante et un apport supérieur aux besoins est nécessaire pour permettre une bonne croissance de la culture.

$$E_p \text{ (kg P}_2\text{O}_5\text{/ha)} = B_p \times PR$$
 (3c)

Où : E<sub>p</sub> = exportation par la plante en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
B<sub>p</sub> = besoin de la plante en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
PR = potentiel racinaire

II. Les pertes

Les phénomènes de lessivage, lixiviation ou rétrogradation doivent également être considérés dans la réflexion. Le principal facteur de perte pour le phosphore est un phénomène de fixation du phosphore soit en relation avec la présence de carbonate de calcium, soit en raison de la présence d’oxydes de fer et d’aluminium. La présence de ces éléments peut être traduite par les conditions acido-basiques du sol et donc par la mesure du pH<sub>KCl</sub>. La disponibilité de cet élément en fonction du pH (eau) est illustrée par la figure suivante (figure 12).

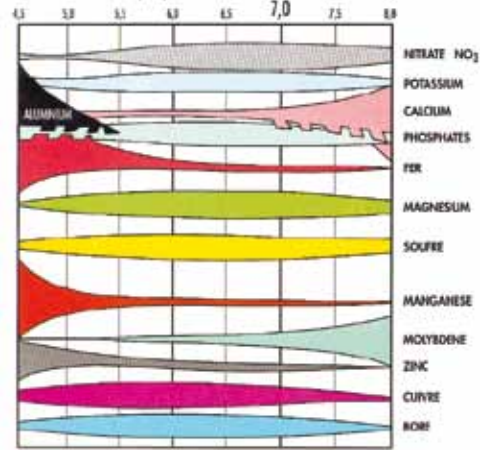


Figure 12 : Schéma d’assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux en fonction du pH du sol (Truog in Merelle, 1998)

Lorsque le pH du sol est très bas, il est conseillé de le relever avant d’apporter des éléments nutritifs tels que le phosphore. Dans la littérature, ce phénomène de fixation est évalué à 30% des apports, c’est pourquoi le facteur suivant est considéré :

- pour un pH<sub>KCl</sub> < 5, un facteur correctif de 1,3 est appliqué,
- pour une valeur de pH<sub>KCl</sub> comprise entre 5 et 7, il n’y a pas de correction appliquée (facteur = 1),
- pour un pH<sub>KCl</sub> ≥ 7, un facteur correctif de 1,3 est appliqué.

III. Les exportations

Les exportations (E) sont donc évaluées comme suit (équation 4) :

$E \text{ (kg } P_2O_5/\text{ha)} = E_p \text{ * facteur correction}$  (4)

Où : E = exportation en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
Facteur de correction fonction du pH<sub>KCl</sub> d'une valeur de 1 ou 1,3

LES APPORTS

Le principe de la fertilisation est d'arriver à un équilibre entre le phosphore disponible pour les plantes et les exportations. Ainsi, de manière à estimer la quantité de phosphore à apporter sur la zone de prélèvement (A), l'offre du sol est soustraite aux exportations (équation 5).

$A \text{ (kg } P_2O_5/\text{ha)} = E - P_2$  (5)

Où : A= quantité de phosphore à apporter en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
E = exportation en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
P<sub>2</sub> = offre du sol en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha

Cette fonction peut conduire à la réalisation d'une impasse lorsque l'offre du sol est plus importante ou égale aux exportations.

La figure 13 synthétise les différentes étapes menant au conseil en phosphore, tel que détaillé dans les précédents paragraphes.

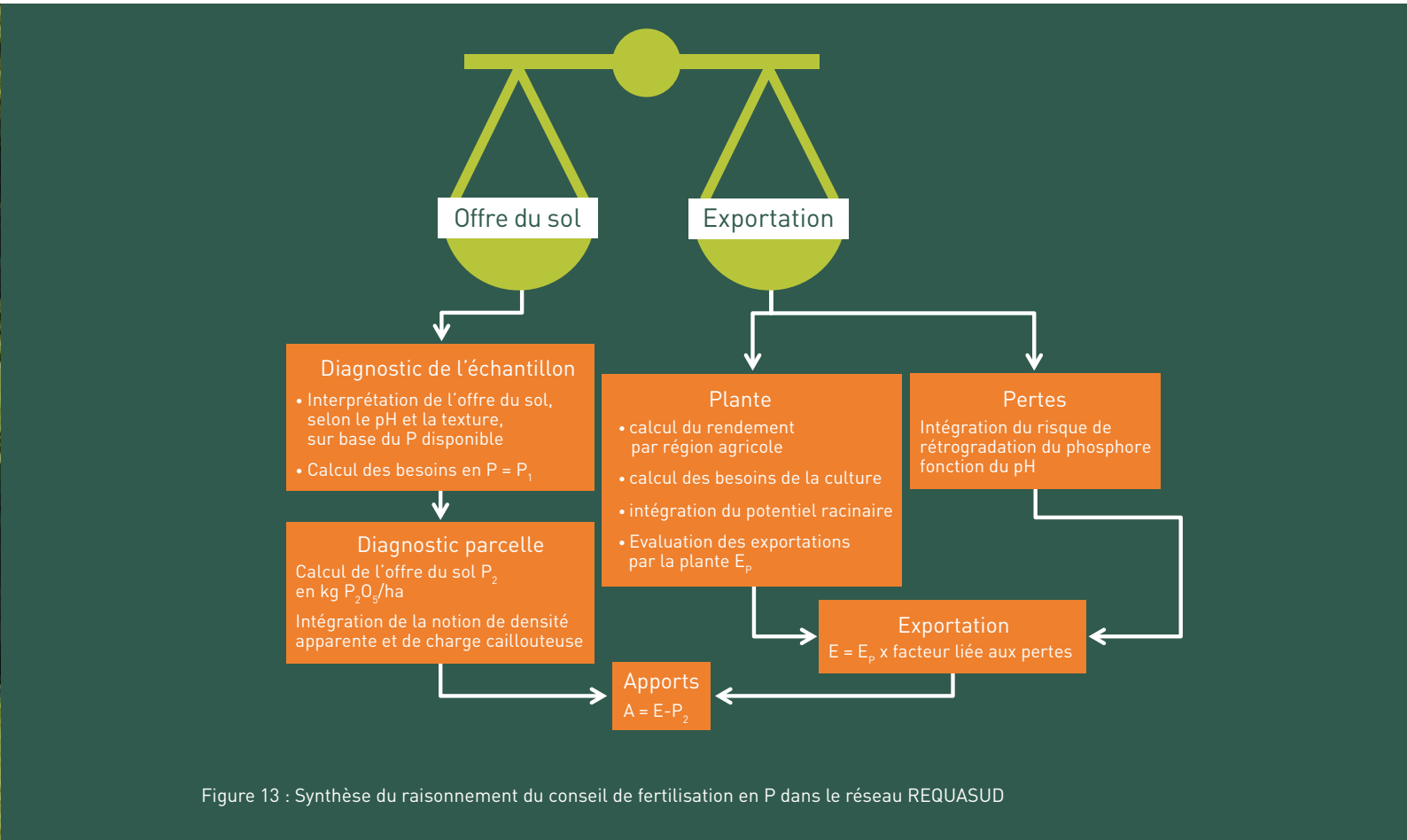


Figure 13 : Synthèse du raisonnement du conseil de fertilisation en P dans le réseau REQUASUD



EXEMPLE

RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION EN PHOSPHORE POUR UNE CULTURE DE FROMENT POUR LA PARCELLE DE FALMIGNOUL, CONDROZ

La parcelle située à Falmignoul (figures 4 et 5) en Condroz a permis d’illustrer tout au long de ce document les différentes étapes menant de l’échantillonnage au conseil. Pour illustrer le raisonnement tel qu’il est préconisé, pour le phosphore, par les laboratoires du réseau, un technicien de prélèvement a effectué trois prélèvements sur cette parcelle, à 20 cm de profondeur, respectivement dans les zones B, D et E. Les trois échantillons ont été apportés au laboratoire et analysés selon les méthodes en vigueur dans le réseau REQUASUD.

Ces résultats ont ensuite été interprétés en suivant le raisonnement détaillé dans les paragraphes précédents et résumé à la figure 13.

Pour chaque zone de prélèvement, les résultats obtenus aux différentes étapes du raisonnement sont précisés dans le tableau 7.

Etape du raisonnement	Référence	Zone de prélèvement		
	Formule	B	D	E
Résultats analyse	P disponible (mg P/100 g)	9,7	4,8	11,8
	pH <sub>KClN</sub>	6,49	7,14	6,56
	Taux argile (classe)	Moyen	Lourd	Moyen
	Taux de COT (%)	1,37	2,00	1,31
Diagnostic de l'échantillon	Sur base du tableau 3	Elevé	Bon	Elevé
	P <sub>1</sub> (mg P/100g)	9,7 - 4,6 = 5,1	0	11,8 - 4,6 = 7,2
Diagnostic à la parcelle	P <sub>2</sub> (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	320	0	290
Rendement estimé	R (qx/ha)	110 X 1 = 110	110 X 0,7 = 77	110 X 1 = 110
Besoins plante	B <sub>p</sub> (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	110 * 1,02 = 112	79 * 1,02 = 79	110 * 1,02 = 112
Exportations plante	E <sub>p</sub> (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	112 * 1 = 112	79 * 1 = 79	112 * 1 = 112
Exportations	E (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	112 * 1 = 112	79 * 1,3 = 103	112 * 1 = 112
Apports	A (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	112 - 320 = -208 = 0	103 - 0 = 103	112 - 290 = -178 = 0

Tableau 7 : Raisonnement de la fertilisation phosphatée pour trois zones de prélèvements situées sur la parcelle de Falmignoul en Condroz

Pour les zones B et E, l’offre du sol est très nettement supérieure aux exportations et il est donc conseillé de réaliser une impasse. Par contre, la zone D, quoique présentant une aptitude légèrement moins bonne, a besoin d’environ 100 unités de phosphore pour que la plante puisse avoir un développement optimal. L’agriculteur pourra donc uniquement apporter du phosphore sur cette partie de sa parcelle, d’où l’intérêt de délivrer un conseil pour une zone de prélèvement plutôt que pour une parcelle. L’agriculteur reçoit la feuille de conseil mais également le rapport d’échantillonnage et le plan des zones de prélèvement sur sa parcelle. Il a donc toutes les armes en main pour réfléchir à la meilleure stratégie de fertilisation à appliquer à sa parcelle.



# REFERENCES

Diab-Sas M 1991. L'échantillonnage d'un sol : une opération plus délicate qu'il n'y paraît. *Cultivar*, **289**, 71-74.

Genot V., Colinet G., Brahy V. & Bock L., 2009. L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en Région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de l'« Etat de l'environnement wallon 2006-2007 »). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13**(1), 121-138.

ISO 10381-1, 2002. *Qualité du sol -- Échantillonnage -- Partie 1: Lignes directrices pour l'établissement des programmes d'échantillonnage*. Genève, Suisse : International organization for standardization.

ISO 10381-2, 2002. *Qualité du sol -- Échantillonnage -- Partie 2: Lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage*. Genève, Suisse : International organization for standardization.

ISO 10381-4, 2003. *Qualité du sol -- Échantillonnage -- Partie 4: Lignes directrices pour les procédures d'investigation des sites naturels, quasi naturels et cultivés*. Genève, Suisse : International organization for standardization.

ISO 10390, 2005. *Qualité du sol -- Détermination du pH*. Genève, Suisse : International organization for standardization.

Lakanen E. & Erviö R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agraria Fennica*, **123**, 223-232.

Mathot M., Vermeiren E., Lambert R., 2009. Indices de nutrition minérale et ensilage d'herbes : évaluation et validation de leur utilisation pour la détection des déficiences en prairies. Rapport final de la recherche collective subvention 2741/1. Janvier 2009. 22 p.

Merelle F., 1998. *L'analyse de terre aujourd'hui*. Nantes, France : Édition GEMAS.

NF X 31-100, 1992. *Qualité des sols -- Échantillonnage -- Méthode de prélèvement d'échantillons de sol*. France. Norme expérimentale.

PCNSW, 2007a. *Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie – version 2. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux*. Laboratoire de Géopédologie, convention pour le compte de la Région Wallonne – DGA, Gembloux, 54p. + 2 annexes.

PCNSW, 2007b. *Mise en œuvre de la phase "interprétation" du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (PCNSW). Rapport final d'activités*. Unité Sol-Écologie-Territoire (Laboratoire de Géopédologie) et Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels. Convention Région Wallonne (DGA), Gembloux, 87p. + annexes.

Roebroeck H., 2009. Le prélèvement : quels acquis méthodologiques ? In : COMIFER-GEMAS. *9<sup>èmes</sup> rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de Terre*. 25-26 novembre 2009. Blois, France.

Ryser JP., Walther U. et Flisch R., 2001. DBF 2001, données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. Station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC). Nyon. *Revue Suisse d'agriculture*, **33 (3)**, 1-81.

Schvartz C., Muller JC., Decroux J. 2005. *Guide de la fertilisation raisonnée*. Paris : France Agricole. 414p.

Édité et distribué par :  
**ASBL REQUASUD**  
Rue de Liroux, 9 - 5030 Gembloux  
Belgique

Dépôt légal : D/2011/8689/1



www.requasud.be

#### COORDINATION GÉNÉRALE DE L'ASBL REQUASUD

##### Cellule de coordination de REQUASUD (CRA-W)

Rue de Liroux, 9 – 5030 Gembloux  
Responsable : Marie-Julie Goffaux  
Tél. 081/62 65 90 – fax 081/62 65 59  
requasud@cra.wallonie.be

#### LABORATOIRE D'ENCADREMENT RÉFÉRENTIEL

Analyses de terre  
Unité de Science du sol (ULg GxABT)  
Responsable : L. Bock  
Contact : V. Genot  
Avenue Maréchal Juin, 27 – 5030 Gembloux  
Tél. 081/62 25 36 – fax 081/61 48 17  
vgenot@ulg.ac.be

#### LABORATOIRES DE SERVICES DIRECTS

##### LA HULPE (Brabant Wallon)

ASBL Brabant Wallon Agro-Qualité  
Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité  
Responsable : F. Demeuse  
Contact : P. Coutisse  
Rue St Nicolas, 17 – 1310 La Hulpe  
Tél. 02/656 09 70 – fax 02/652.03.06  
labo.lahulpe@skynet.be

##### ATH (Hainaut)

ASBL CARAH  
Laboratoires du CARAH  
Responsable : M. Van Koninckxloo  
Contact : L. Paternostre  
Rue Paul Pastur, 11 – 7800 Ath  
Tél. 068/26 46 90 – fax 068/26 46 99  
paternostre@carah.be

##### TINLOT-SCRY (Liège)

ASBL CPL-PROMOGEST  
Laboratoires de la Province de Liège  
Responsable : D. Vanvyve  
Rue de Dinant, 110 – 4557 Tinlot-Scry  
Tél. 085/24 38 00 – fax 085/24 38 01  
spaa@provincedeliege.be

##### BASTOGNE (Luxembourg)

ASBL IQUALUX  
Centre de Michamps  
Michamps – 6600 Bastogne  
Responsable : R. Lambert  
Contact : J-P. Sacré  
Tél. 061/21 08 20 – fax 061/21 08 40  
richard.lambert@duclouvain.be

##### CINEY (Namur)

ASBL OPA-Qualité Ciney  
Laboratoires de l'Office Agricole  
de la Province de Namur  
Responsable : P. Courtois  
Contact : J. Balon  
Domaine St Quentin  
Rue de St Quentin, 12 – 5590 Ciney  
Tél. 081/77 68 16 – fax 083/21 81 18  
jacques.balon@province.namur.be